



CARACTERIZACIÓN DE FALLAS NORMALES ACTIVAS EN LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL GOLFO DE CÁDIZ (SO DE LA PENÍNSULA IBÉRICA)

Characterization of active normal faults in the Gulf of Cádiz continental shelf (SW Iberian Peninsula)

O. Sánchez-Guillamón (1), J.T. Vázquez-Garrido (1), M.C. Fernández-Puga (2), L.M. Fernández-Salas (3) y V. Díaz del Río (1).

(1) Instituto Español de Oceanografía. Centro Oceanográfico de Málaga. Puerto Pesquero s/n, 29640-Fuengirola, Málaga.

olga.sanchez@ma.ieo.es

(2) Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Universidad de Cádiz. Dpto. Ciencias de la Tierra. Puerto Real, Cádiz

(3) Instituto Español de Oceanografía. Centro Oceanográfico de Cádiz. Puerto Pesquero. Muelle de Levante, s/n, 11004-Cádiz

Resumen: Se presentan nuevas evidencias de actividad tectónica reciente en la plataforma continental del margen Bético del Golfo de Cádiz. La identificación y caracterización de fallas normales activas cuaternarias, principalmente en la plataforma media y externa existente entre la desembocadura del río Guadalquivir hasta la Bahía de Cádiz, está basada en la interpretación de perfiles de reflexión sísmica de alta y muy alta resolución, donde los Cortejos Sedimentarios Transgresivo (TST) y de Alto Nivel del mar (HST) están afectados por dichas estructuras. Esta caracterización ha permitido cuantificar la actividad neotectónica del área durante el periodo de tiempo entre el Pleistoceno Terminal y la actualidad (18 ka), a partir de la estimación relativa de las tasas de desplazamiento y la datación relativa del movimiento de estas estructuras tectónicas.

Palabras clave: Fallas normales, plataforma continental, tasa de desplazamiento vertical, Golfo de Cádiz

Abstract: New evidences of recent tectonic activity have been found at the outer and middle continental shelf of the Gulf of Cadiz, from the Guadalquivir river mouth to the Bay of Cádiz. The characterization of Quaternary active faults is based on the interpretation of high and very high resolution seismic reflection profiles, where faults are affecting the Transgressive System Tract (TST) and Highstand System Tract (HST). Normal faults following E-W to NW-SE trends have been identified and mapped, and are related to WNW-ESE deep listric faults and diapiric structures. Neotectonic activity, mainly from Upper Pleistocene to present-day (18ka), has been quantified in this sector on the basis of the relative estimated slip rate and the relative dating of these tectonic structures.

Key words: Normal faults, continental shelf, slip rate, Gulf of Cadiz.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Las características geológicas del Golfo de Cádiz así como su ubicación en las proximidades del límite de placas entre Eurasia y África, han condicionado la evolución geodinámica de este margen continental. La actividad tectónica posterior al desarrollo del orógeno Bético-Rifeño ha estado controlada por una convergencia oblicua de orientación general NO-SE a ONO-ESE entre las dos placas, así como por la reactivación de fallas del Complejo Alóctono del Golfo de Cádiz - CAGC (Gràcia et al., 2003a, Medialdea et al., 2004). Como resultado de esta deformación se han desarrollado una serie de cabalgamientos activos de dirección NE-SO (Gràcia et al., 2003b), que favorecieron el desarrollo de crestas de diapiros (Fernández-Puga et al., 2007), y de fallas lítricas de dirección general NO-SE (Maldonado et al., 1999), estas últimas localizadas en el dominio próximo a la plataforma continental y, enraizadas en formaciones plásticas del CAGC, que siguen funcionando en la actualidad (Vázquez et al., 2008).

El sector estudiado de la plataforma continental se extiende desde la desembocadura del río Guadalquivir al norte hasta las proximidades de la Bahía de Cádiz al sur, en profundidades comprendidas entre 20 y 140 m. El área de estudio corresponde al domino Bético y se sitúa sobre el

Complejo Alóctono del Golfo de Cádiz, que se extiende hacia el norte sobre la cuenca de antepaís del Guadalquivir y hacia el suroeste sobre el margen continental (Gràcia et al., 2003a, Medialdea et al., 2004). La secuencia estratigráfica que presenta la plataforma continental está controlada principalmente por el emplazamiento del CAGC, que deforma las formaciones pre-Miocenas y condiciona la geometría de las unidades Plioceno-Cuaternarias. El segundo factor que influye sobre esta arquitectura es la sedimentación durante el Cuaternario Terminal, marcada principalmente por episodios de regresión forzada (Lobo et al., 2004). Todo el Golfo de Cádiz se caracteriza además, por una importante actividad diapírica (Fernández-Puga et al., 2007).

En el margen continental del Golfo de Cádiz, los registros estratigráficos son asimétricos debido a que las variaciones sedimentarias durante el periodo Cuaternario han estado ligadas a variaciones climático-eustáticos, controladas por cambios muy bruscos del nivel del mar que configuran Cortejos sedimentarios regresivos y de bajo nivel del mar y Cortejos transgresivos y de alto nivel del mar (Pleistoceno Terminal – Holoceno) (Hernández-Molina et al., 2002). La estructura estratigráfica interna de los depósitos postglaciales del último ciclo glacial en este sector de la plataforma continental está constituida por la presencia de estos dos

cortejos sedimentarios, el Cortejo transgresivo (TST) y el Cortejo de alto nivel del mar (HST).

Recientemente Vázquez et al. (2010) describieron la presencia de fallas normales que deforman a las unidades del último episodio postglacial, tanto frente a las localidades de San Fernando y Conil de la Frontera como en la Bahía de Cádiz, con orientaciones comprendidas entre NO-SE y ONO-ESE, afectando a las unidades holocenas del Cortejo de Alto Nivel, y en la plataforma media-externa frente a las poblaciones de Chipiona y Rota que siguen orientaciones E-O a ONO-ESE y afectan a estas mismas unidades. Estas fallas han sido interpretadas como resultantes del desarrollo de estructuras de relajación de diapiros y pliegues (Sánchez-Guillamón et al., 2012).

El objetivo de este trabajo es identificar, caracterizar y cuantificar individualmente y de manera relativa las zonas de fracturación durante el Cuaternario Superior (últimos 18000 años) y establecer sus tasas de desplazamiento debido a la actividad tectónica reciente en la plataforma continental.

METODOLOGÍA

Se han utilizado perfiles del subsuelo de muy alta resolución (Fig. 1) adquiridos durante las campañas oceanográficas INDEMARES CHICA 0610 y 1011 en el contexto del proyecto LIFE+INDEMARES (LIFE07/NAT/E/000732) utilizando la ecosonda paramétrica TOPAS PS18, principalmente en la plataforma externa, con transectos paralelos a la línea de costa ENE-OSO, y en plataforma media, con dirección transversal NE-SO y dirección E-O más oblicua.

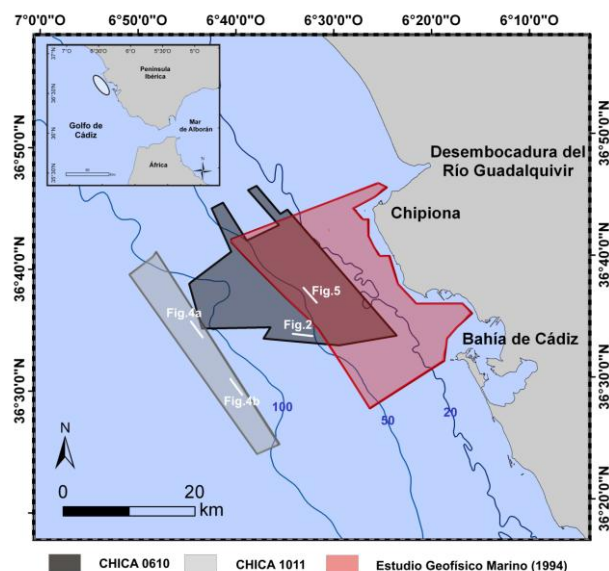


Figura 1: Mapa de situación de las campañas de prospección geofísica utilizadas para este estudio en el sector oriental de la plataforma continental del Golfo de Cádiz. Las líneas corresponden a la localización de los perfiles sísmicos presentados.

Figure 1: Location map of the marine geophysical surveys from the eastern sector of the Cadiz Gulf continental shelf. The lines show the location of seismic profiles presented in this work.

Los perfiles sísmicos de alta resolución se obtuvieron durante sucesivas campañas de prospección geofísica realizadas por el MOPTMA con los

sistemas Geopulse y Uniboom, desde 1991 a 1996, cedidos en el contexto del proyecto CADHYS (P08-RNM-03581). Dichos perfiles constituyen una malla compacta de orientación NO-SE.

El análisis tectónico ha implicado la definición de una serie de marcadores en el registro sedimentario que permitieran establecer una cronología relativa de la deformación. Para ello se ha utilizado un modelo cronoestratigráfico propuesto por Fernández-Salas et al. (2008) para los depósitos transgresivos y de alto nivel del Holoceno Superior del sur peninsular. Así, se han identificado cuatro discontinuidades como marcadores cronológicos con el fin de calcular los desplazamientos verticales que producen las fallas en las unidades sedimentarias postglaciales, así como la tasa de deformación relativa que generan. Las superficies de discontinuidad, de la más antigua a la más reciente son:

- Superficie Transgresiva postglacial (TS): 18 ka
- Superficie de Máxima Inundación (MFS): 6,5 ka
- Superficie Intermedia de los depósitos de Alto Nivel (MHS): 3,5 ka
- Actual fondo del mar (SFS)

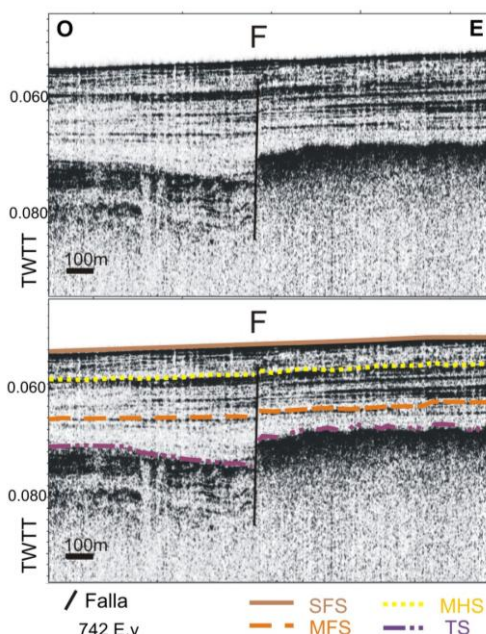


Figura 2: a) Perfil TOPAS no interpretado en el que se observa una falla normal deformando las unidades pleistocenas y holocenas. b) Perfil TOPAS interpretado en el que se observan las 4 discontinuidades de referencia: TS: Superficie Transgresiva, MFS: Superficie de máxima inundación en el Holoceno; MHS: Superficie intermedia holocena de Alto nivel del mar y fondo del mar: SFS. La exageración vertical del perfil es de 742.

Figure 2: a) Uninterpreted TOPAS profile showing a normal fault deforming Pleistocene and Holocene sedimentary units. b) Reference discontinuities indicated as chronological markers in interpreted TOPAS profiles: TS: Transgressive Surface; MFS: Maximum Flooding Surface; MHS: Mid High Surface and SeaFloor Surface: SFS. Profile vertical exaggeration is 742.

Para obtener estos cálculos se ha considerado una velocidad de propagación de las ondas sísmicas en la columna de agua de 1500 m/s y en las unidades sedimentarias de 1650 m/s.

Desplazamiento vertical y tasas de deformación

Los valores de máximo desplazamiento vertical de las fallas son de 8,25 a 6,60 m y se encuentran en zonas influenciadas por la actividad diapírica del subsuelo. Las fallas que presentan menores valores en su desplazamiento vertical, entre 5,78 a 4,95 m, se asocian a la deformación de pliegues previos a la última transgresión y que a su vez están relacionadas con fallas normales profundas de similar orientación que han sido generadas por la reactivación extensional del CAGC.

La tasa de deformación relativa media en nuestra área de estudio es de 0,38 mm/año a lo largo de todo el periodo Holoceno y Pleistoceno Superior, presentando valores máximos de deformación en el HST, tanto en los depósitos de Alto Nivel del mar del Holoceno Inferior (~6500 -3500 años BP) como en los del Holoceno Superior (~3500-actualidad); de 0,55 mm/año y 0,34 mm/año respectivamente frente a tasas de desplazamiento de 0,23 mm/año en el TST (18.000-6500 años BP) en los depósitos pleistocenos. Sobre la base de esta variabilidad en la deformación producida por las fallas se observa que está deformación no puede generarse sólo por compactación, dado que la deformación es mayor en los depósitos de Alto Nivel, sino que es necesario la actividad tectónica de las fallas. Por otro lado, puede asumirse que la deformación determinada para estas fracturas se ha generado a lo largo de más de un evento sísmico, y que durante el Holoceno Inferior (~6500 -3500 años BP) debieron tener lugar eventos de mayor magnitud dado el aumento de deformación.

CONCLUSIONES

Se han determinado las tasas de deformación de las fallas normales presentes en el sector de la plataforma continental comprendido entre los municipios de Chipiona y Cádiz para los últimos 18ka. Dichas estructuras con actividad neotectónica presentan diferentes desplazamientos verticales y un rango en la tasa de deformación relativa de entre 0,07 a 1,19 mm/año, lo cual podría ser el reflejo de distintos pulsos tectónicos, que pudieron estar asociados a eventos sísmicos ocurridos durante el actual período interglacial.

Esta tasa de deformación es mayor durante el Holoceno y menor en la etapa correspondiente al Pleistoceno Superior. Esta variabilidad de la tasa de deformación permite determinar diferencias en el movimiento de las fallas y por tanto asumir que este movimiento es el reflejo de eventos sísmicos de diferentes características, siendo la tasa de sedimentación durante el Holoceno mayor que durante el Pleistoceno Superior, distribuyéndose espacialmente y de manera progresiva de E a O, alcanzando valores de 16 m. En este contexto, el episodio que corresponde al depósito durante el Holoceno es donde cabría la posibilidad de la existencia de eventos de mayor magnitud, factor que se debería tener en cuenta para establecer los periodos de recurrencia sísmica en esta zona.

Por otro lado, no es posible individualizar eventos sísmicos siguiendo el modelo de Barnes y Pondard (2010) debido a que la conservación de los registros

de paleoterremotos en los perfiles sísmicos queda empobrecida o ausente al ser la tasa de sedimentación inferior a las tasas de desplazamiento vertical de las fallas.

Agradecimientos: Este trabajo se lleva a cabo en el contexto de los proyectos CADHYS (P08-RNM-03581) e INDEMARES-CHICA (LIFE 07/NAT/E/000732).

Referencias bibliográficas

- Barnes, P.M., Pondard, N. (2010). Derivation of direct on – fault submarine paleoearthquake records from high-resolution seismic reflection profiles: Wairau Fault, New Zealand. *Geochem, Geophys, Geosyst*, 11, Q11013, doi:10.1029/2010GC003254.
- Fernández-Puga, M.C., Vázquez, J.T., Somoza, L., Díaz del Río, V., Medialdea, T., Mata, P., León, R. (2007) Gas related morphologies and diapirism in the Gulf of Cádiz. *Geo-Marine Letters*, 27, 223-235.
- Fernández-Salas, L.M., Lobo, F.J., Hernández-Molina, F.J., Díaz del Río, V., L., Díaz del Río y Somoza, L. (2008). Modelo estratigráfico secuencial de muy alta resolución de los depósitos del alto nivel del mar del Holoceno Superior en el sur de la Península Ibérica. *GeoTemas*, 10: 523-526.
- Gràcia, E., Danobeitia, J.J., Verges, J., Bartolome, R. (2003a). Crustal architecture and tectonic evolution of the Gulf of Cadiz (SW Iberian margin) at the convergence of the Eurasian and African plates. *Tectonics* 22, n.4, 1033, doi:10.1029/2001TC901045.
- Gràcia, E., Dañobeitia, J., Vergés, J., PARSIFAL Team, (2003b). Mapping active faults offshore Portugal (36° N-38° N): Implications for seismic hazard assessment along the southwest Iberian margin. *Geology*, 31 (1): 83-86.
- Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Vázquez, J.T., Lobo, F., Fernández-Puga, M.C., Llave, E., Díaz, V. (2002). Quaternary stratigraphic stacking patterns on the continental shelves of the southern Iberian Peninsula: Their relationship with global climate and palaeoceanographic changes. *Quaternary International*, 92; 5-23.
- Lobo, F.J., Sánchez, R., González, R., Dias, J.M.A., Hernández- Molina, F.J., Fernández-Salas, L.M., Díaz del Río, V., Mendes, I.(2004). Contrasting styles of the Holocene highstand sedimentation and sediment dispersal systems in the northern shelf of the Gulf of Cadiz. *Cont. Shelf Res.* 24, 461– 482.d
- Maldonado, A., Somoza, L., Lorenzo, P., (1999). The Betic origin and the Iberian-African boundary in the Gulf of Cadiz: geological evolution (central North Atlantic). *Marine Geology*. 155, 9–43
- Medialdea, T., Vegas, R., Somoza, L., Vázquez, J.T., Maldonado, A., Díaz-del-Río, V., Maestro, A., Córdoba, D. & Fernández-Puga, M.C. (2004). Structure and evolution of the "Olistostrome" complex of the Gibraltar Arc in the Gulf of Cádiz (eastern Central Atlantic): evidence from two long seismic cross-sections. *Marine Geology*, 209 (1-4), 173-198.
- Sánchez-Guillamon, O.(2012) Caracterización de estructuras recientes en la plataforma continental del Golfo de Cádiz. Tesis de Master. Universidad de Cádiz, Puerto Real, Cádiz (España), 60pp.
- Vázquez, J.T., Medialdea, T., Somoza, L., Vegas, R. & Fernández Puga, M.C. (2008). Revisión de las estructuras neotectónicas en la región del Golfo de Cádiz: Margen continental y Llanuras abisales adyacentes. *GeoTemas*, 10 (SO7028), 591-594.
- Vázquez, J.T., Fernández-Puga, M.C., Medialdea, T., Díaz del Río, V., Fernández-Salas, L.M., Llave, E. Lobo, F.J., López, F.C., Maldonado, A., Somoza, L., Palomino, D. (2010). Fracturación normal durante el Cuaternario Superior en la Plataforma Continental Septentrional del Golfo de Cádiz (SO de Iberia). En: J.M. Insua y F. Martín-González (eds.): *Contribución de la Geología al Análisis de la Peligrosidad Sísmica*, pp. 183-186, Sigüenza, España.